●中央職業能力開発協会会長賞

空調シミュレータ教材 冷凍サイクルの理解（初級編）

栃木県立県央高等産業技術学校　設備システム科　高橋　研吾・矢津　卓也

1．はじめに

当校は，平成８年４月に開校した職業能力開発施設で，中学校卒業者以上を対象とする高等部と，高等学校卒業者等を対象とする本科部および在職者や離転職者を対象とする部門からなる，県内最大規模の施設である。

本科部に属する設備システム科は「設備業界における実践技能者養成」を目的として設置された訓練科で，２年間の訓練を行っている。１年次は主に給排水衛生設備等の設計から施工までを習得させ，２年次に冷凍・空調機器の設置，運転調整，およびシステムの設計まで習得させることを目標に掲げている。同時に「ひとづくり」という部分にも力を入れ，積極性や責任感，思いやりを持ち合わせた人材の育成ということも常に念頭において指導にあたっている。

開校して以来，企業との情報交換を密に取りながら毎年のようにカリキュラムを見直し，ニーズにあった内容を模索しつつ，「喜ばれる人材」の育成のために日々努力しているところである。

2．教材作成の背景

設備システム科においては，雇用情勢の悪化するなかにありながら，就職率が平成14年からの３年間連続100%を達成している。これは，栃木県内の設備業界において，厳しい状況にありながら新しい人材の要請が確実に存在していることを示している。しかしその一方で，ここ数年設備システム科の入校者数が減少傾向にある。若者の技能者離れと少子化の影響から，今後慢性的な人材不足へ陥ることが懸念される。１人でも多くの人材の確保と育成のために，初期の段階で興味を引き，親しみやすくかつ実践的な教材の開発ということで，今回の空調シミュレータ教材の作成に至った。さらに，指導員の個人差を埋めるべく教材のマニュアル化，デジタルデータ化を推し進めており，どの指導員が担当しても同じように教材を利用できるようなマニュアルの作成も行った。

3．教材の概要

教材は，空調シミュレータ（実験装置）であり，使用されていた市販のユニットクーラーの室外機，室内機の外箱を分解し，一目で冷凍サイクルを追えるようにすべての構成要素を２次元に展開したものである。装置の寸法は1600mm×750mm×1800mm，架台にはアルミニウム材を用いた。電源は交流の３相200V，冷媒にはフルオロカーボンR22を使用している。運転は冷房のみとなっている。取扱説明書を含むテキストはA4版であり，学科目『冷凍空調法』において，実験装置を実際に運転し触れさせながら，体験的に冷凍サイクルを理解させる内容になっている。また，高校生を対象に行う体験学習でも専用のテキストを用いて活用することができる。

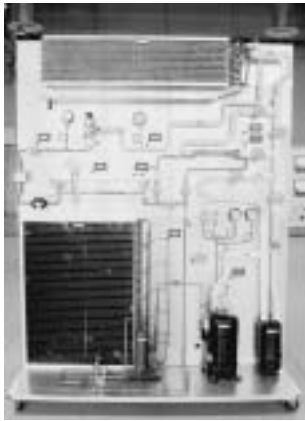
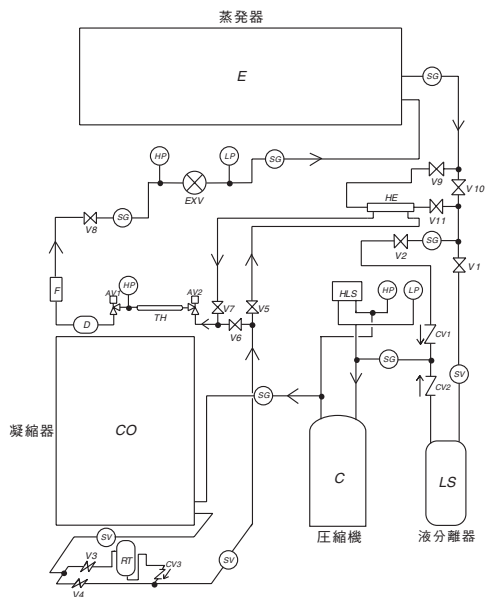
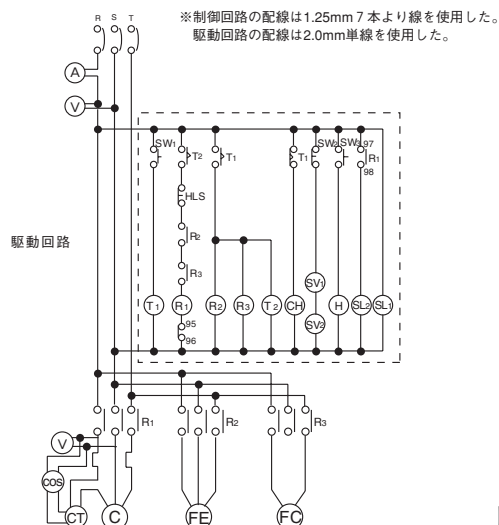



図１　空調シミュレータおよび教材用テキスト

空調シミュレータの機器、部品明細表

記　号	名　称	仕　様	数量
C	圧縮機	AC200V　3ϕ　50/60Hz　2,2kw　R-22	1
CO	凝縮器	ϕ9.5CuT　1列×34段　640mm×860mm	1
E	蒸発器	ϕ9.5CuT　1列×10段　230mm×1000mm	1
RT	レシーバータンク	ϕ80×230H	1
LS	液分離器	ϕ130×320H	1
D	フィルタードライヤ	ϕ9.5用	1
EXV	手動膨張弁	R-22用　内均型	1
HLS	高低圧圧力開閉器	低50cmHg〜6kgf/cm2　高8〜30kgf/cm2	1
LP	低圧圧力計	ϕ60×1/4f　76cmV〜15K	2
HP	高圧圧力計	ϕ60×1/4f　0〜30K	3
$V_{1,2,8\sim11}$	パックレスバルブ	ϕ9.5用	5
$V_{3\sim7}$	パックレスバルブ	ϕ16用	6
$SV_{1,2,3}$	サービスバルブ	ϕ9.5用	3
$CV_{1,2}$	逆止弁	ϕ16用	2
CV_3	逆止弁	ϕ9.5用	1
$AV_{1,2}$	電磁弁	AC100　50/60Hz	2
HE	熱交換器	ϕ16×ϕ9.5	1
TH	チューブヒータ	AC100	1
F	冷媒流量計	R-22用　30〜300kg/h	1
SG	サイトグラス	ϕ9.5用	3
SG	サイトグラス	ϕ16用	3
T	熱伝対		9
	冷媒	R-22	1

図２　空調シミュレータ系統図

空調シミュレータの制御部品明細表

記　号	名　称	銘　板	仕　様	数量
V	電圧計		0〜300V	2
A	電流計		0〜20〜40A	1
COS	力率計		LEAD　0.5〜1〜0.5　LAG	1
ELB	漏電ブレーカー	電源	3P　30AF　30AT	1
CT	変流器			1
CH	クランクケースヒータ	圧縮機	予定	1
H	チューブヒータ		AC100V	1
HLS	高低圧圧力開閉器		AC100V	1
SV1,2	電磁弁		AC100V	2
SW1	スイッチ	電源	AC200V	1
SW2	スイッチ	電磁弁	AC200V	1
SW3	スイッチ	チューブヒータ	AC200V	1
SL１	表示ランプ	電源ランプ	AC200V	1
SL2	表示ランプ	過電流ランプ	AC200V	1
C	圧縮機		AC200V　50/60Hz　2,2kw	1
FC	凝縮器ファン		AC200V　50/60Hz　75W	1
FE	蒸発器ファン		AC200V　50/60Hz　65W	1
R1,2,3	リレー		AC200V	3
T1,2	タイマー		AC200V	2

図３　制御配線系統図

4．教材の内容と特徴

4.1　冷凍サイクルを構成する要素

市販のパッケージエアコンを分解し，次にあげる要素を取り出して配管で結び，冷凍サイクルを構成している。

・圧縮機

圧縮機は，冷凍サイクルにおいて冷媒を循環させるためのポンプの役割を果たす。文字どおり冷媒を圧縮し循環に必要なエネルギーを与えており，空調機の性能を大きく左右する部分である。したがって，圧縮機の運転状況を把握させるために，圧縮機出入口にサイトグラス，圧力計および温度計を設けた。温度計については常時温度変化が把握できるようデジタルの表示盤を測定箇所ごとに設けた。図４の左側の写真は，圧縮機の設置状況とサイトグラス，温度計の設置状況を示す。中央が圧縮機で，太い配管が吸込管，細い配管が吐出管となっている。どちらもむき出しとなっており，直接手で触れて温度変化を確認することができる。右端の機器は圧縮機吸込管に接続された液分離器（アキュームレータ）である。右側の写真は圧縮機の出入口に接続されている圧力計を示しており，ここから高低圧圧力スイッチに接続させている。

図４　圧縮機設置状況

・凝縮器

冷凍サイクルで圧縮機の次にくる構成要素が凝縮器である。冷房運転時においては室外機にあたり，室内の熱と圧縮機で発生した熱を外気に放出する部分である。圧縮機同様出入口における状況変化をサイトグラス，圧力計，温度計，配管への接触によって確認することができる。図５に凝縮器設置状況を示す。凝縮器の背面にファンを配置し，ファンの動作状態を確認できるよう右側の写真のようにアクリル板で周囲を囲んだ。

図５　凝縮器設置状況

・膨張弁

凝縮器を出た高圧の冷媒を，絞り膨張によって減圧するのが膨張弁である。冷凍サイクルにおいて最も冷媒通路が細く抵抗の大きな場所となるため，冷媒循環量をつかさどる部分でもある。容量制御や減圧の方法によりさまざまな膨張弁が存在するが，今回は自由に絞りの量を変更できる手動膨張弁を用いた。これにより膨張弁開度と冷媒循環量，運転圧力との関係を確認することができる。また，膨張弁出入口における状況変化も，サイトグラス，圧力計，温度計，配管への接触によって確認することができる。

図６　膨張弁設置状況

・蒸発器

冷房運転時においては室内機にあたり，室内の熱を冷媒に取り込む部分である。蒸発器を通り抜けた室内の空気は熱を奪われるため，空気中に含まれていた水蒸気が結露する。結露した水滴をすべて受け止められるよう蒸発器下部にドレンパンを設け，結露した水滴を計量用容器に集合させるようになっている。これにより除湿能力を計測することができる。また，蒸発器出入口における状況変化も，サイトグラス，圧力計，温度計，配管への接触によって確認することができる。特に，入口配管部分の霜付き状況などを容易に確認することができる。図７に蒸発器設置状況を示す。右側の写真は室内の空気を蒸発器に送り込むためのファンであり，蒸発器の背面に設置してある。

図７　蒸発器設置状況

・冷媒流量計およびフィルタドライヤ

本教材には，通常のパッケージエアコンには付属していないが，冷凍サイクルの理解において不可欠となる冷媒循環量の把握のために，図８に示すフロートタイプの流量計を設置した。また，サイクル内の水分と異物除去のために，膨張弁手前に図９に示すフィルタドライヤを設置した。

図８　冷媒流量計

図９　フィルタドライヤ

４.２　応用実験装置

基本的な冷凍サイクルの学習をすませた後で，実際に使用されている付属機器や，危険予知の学習を行えるように，５つの応用実験装置を組み込んだのでここで紹介する。

・液ガス熱交換器の効果

液ガス熱交換器は，蒸発器出口の冷媒と凝縮器出口の冷媒を熱交換させ，液圧縮の防止と過冷却度の増大を目的として使用される。この機器の効果を確認するために，本実験装置に液ガス熱交換器へのバイパス経路を追加し，液ガス熱交換器を使用した場合と使用しない場合との運転を，バルブ操作のみで切り替えられるように接続した。図10に液ガス熱交換器と，その接続状況を示す。

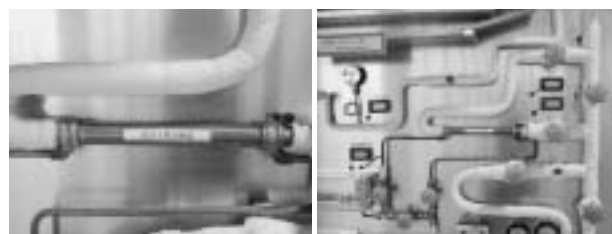



図10　液ガス熱交換器効果確認実験装置

・受液器の効果

冷房負荷の変動による冷媒循環量の変化を吸収するために受液器を設ける。受液器を使用しない場合，循環していない冷媒は主に凝縮器内に溜まり，凝縮効率を低下させる。図11に示すように，本実験装置に受液器へのバイパス経路を追加し，受液器を使用した場合と使用しない場合との運転を，バルブ操作のみで切り替えられるように接続した。この実験は，冷媒を過充填させた状態で行うことで，わかりやすい結果が得られる。

図11　受液器効果確認実験装置

・液圧縮危険予知

致命的な空調機の故障原因の１つに，液圧縮による圧縮機の破損がある。通常圧縮機の吸入管から気体の冷媒が圧縮機内に吸い込まれ，圧縮される。液冷媒が圧縮機内に吸い込まれた場合，液は加圧によりほとんど収縮しないため，圧縮機の吸入弁や吐出弁を破損させることになる。この結果，圧縮不良や破損部品のかじりによる動作不良を起こす。こうなっては圧縮機の修理または交換が必要となる。過去に液圧縮を強制的に起こし，運転状況の変化を把握するための実験を行ったが，液圧縮による圧縮機の破損は唐突に起こり，圧縮機を破損させてしまったことがある。この反省を生かし，液圧縮のメカニズムの理解と危険予知を促すために，圧縮機吸入管手前に液だまりのできやすい配管形状を作り，その端部にバルブとサイトグラスを設け，この配管を液分離器を介さずに直接圧縮機の吸入管と接続させた。ここに実際に液だまりを作ることで，配管形状とバルブ操作のミスによる液圧縮の発生メカニズムの理解を促すことができる。図12に液圧縮の予知を促す実験装置の状況を示す。写真右上部の分岐から左側が液だまりを確認する経路で，直接圧縮機吸込管に接続されている。圧縮機停止時に分岐後の両バルブを閉めることで液だまりができ，サイトグラスにより確認できる。

図12　液圧縮予知実験装置

・液封危険予知

液配管の両端をバルブなどで閉じ，密閉された区間が形成される状態を液封といい，ここが熱せられると比較的低い温度であっても内部の液冷媒が膨張し，継ぎ手やバルブなどがその圧力によって破損することがある。液封の危険を予知するために，液配管の一部を２つのバルブで密閉し，液封状態をつくりだせる区間を設けた。さらに，その区間をチューブヒータで加熱し，温度変化による圧力変動を観察できるようにした。図13は液封実験装置を示す。圧力計と温度計，チューブヒータに加え，万が一のバルブの破損に備えて，アクリル板による防護壁を設けてある。また，バルブには遠隔操作が可能な電磁弁を使用した。

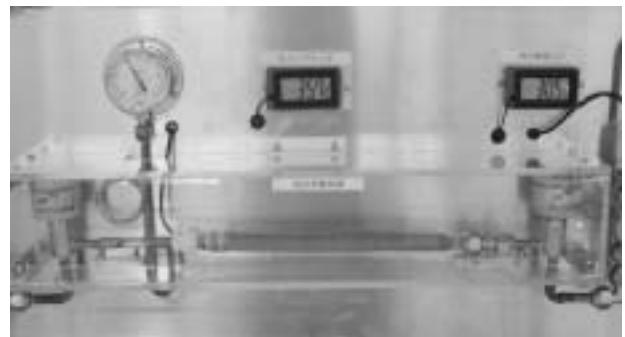



図13　液封実験装置

・フラッシュガス

膨張弁の入口は通常液冷媒で満たされているが，配管のつまりや冷媒量不足などで圧力が低下すると，液冷媒の一部がガス化する。これをフラッシュガスといい，フラッシュガスの発生により冷媒の循環量が不安定になり能力が低下する。本実験装置では，膨張弁の手前にサイトグラスとバルブを設け，このバルブを絞り圧力を下げることで，通常の運転時においても，容易にフラッシュガスを発生させることができる。

図14　フラッシュガス発生装置

4.3　教材用テキスト

「冷凍空調法」の授業で使用するためのテキストの内容と特徴を以下にまとめる。

・教材用テキストに含まれる内容

⑴　教材の特徴

⑵　教材の概要

◯実験装置系統図

◯制御配線図

⑶　冷凍の原理

◯熱とは

◯冷凍機はどのように冷やしているのか

◯冷凍機のしくみ

⑷　空調シミュレータ取り扱い説明

⑸　実験ユニット　冷凍サイクルの理解

◯蒸発器

◯液分離器

◯圧縮機

◯凝縮器

◯フィルタドライヤ

◯膨張弁

◯冷凍サイクルの流れ

◯モリエル線図の描き方

・教材用テキストの特徴

初心者でも理解しやすいように，導入部に「冷凍の原理」という項目で，熱とは何かから始まり，打ち水や注射の際のアルコール消毒などより身近で具体的な事例や家庭用のエアコンを例にあげたイラスト等を用いて冷凍の原理を説明している。

冷凍サイクルの理解を促すための実験ユニットでは，冷凍サイクルを構成する要素である機器ごとに，圧力や温度を測定すべき箇所や，温度を体感させる場所の指示が写真入で説明されている。また，得られたデータや体感した内容を使って，各機器における状況の変化をそのつど考察できるように導いている。また，得られたデータを利用して，モリエル線図を描けるよう，点の打ち方から線の引き方まで，実際のモリエル線図上で示しながら詳しく説明している。

5．期待する効果

次のような効果を期待してこの教材を作成した。

・冷凍サイクルの流れを，感覚的に体得できること。

・これから自分の将来について考える若者が，冷凍の技術に興味を持ち，面白みを感じられること。

・空調機を取り扱う際に，安全と効率を常に意識させること。

・経験のない空調機のトラブルに遭遇した際に，自ら考え解決するための土台を築かせること。

6．おわりに

これから自分の将来を考え，大きな第一歩を踏み出そうとしている学生を毎年社会に送り出していますが，とにかく自分の進む先の世界を少しでも広く知り，その面白みをつかんで巣立ってほしい。例えば，冷凍技術の世界においても，毎年めざましい進歩の中で，成績係数が６，すなわち１のエネルギーで６の冷凍能力を発揮できるといったようなルームエアコンも市販されている。この点だけでも十分に興味深い話ではないでしょうか。

われわれが常に考えることは，「いかにして喜ばれる人材を生み出すか」ですが，近年特に要求されるのは，積極性や責任感であります。こうした人間性を発揮させる原動力の１つは，「興味を持つこと」ではないでしょうか。厳しい現実を乗り越えていくにも，やはり大きな原動力が必要となります。

一人でも多くの方に，設備業の面白みを感じてもらい，興味を持っていただけるよう，今後も精いっぱい努力していきたいと考えています。